

Trabajo Fin de Grado

El sistema copernicano. Antiguos problemas
astronómicos y el renacer de nuevas soluciones

Autor/es

Carmen Gil Costa

Director/es

Juan Vicente Mayoral de Lucas

Facultad / Escuela

Año

Facultad de Filosofía y Letras

2013

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. DISCUSIÓN.....	3
II.I EL SISTEMA DE ESFERAS HOMOCÉNTRICAS.....	5
II.II ESTADO DE LA ASTRONOMÍA MATEMÁTICA EN EL RENACIMIENTO.....	9
II.II.I PROBLEMAS RELACIONADOS CON EL CALENDARIO.....	9
II.II.II PROBLEMAS TÉCNICOS DE LA ASTRONOMÍA MATEMÁTICA Y LAS TEORÍAS COSMOLÓGICAS.....	10
II.II.III RELACIÓN ENTRE LAS CIENCIAS ASTRONÓMICAS Y LA IGLESIA.....	13
II.II.IV RECUPERACION DE LOS TEXTOS CLÁSICOS.....	15
II.III VIRTUDES RESOLUTIVAS DEL TRABAJO DE COPÉRNICO.....	15
III. CONCLUSIÓN.....	22
III. BIBLIOGRAFÍA	24

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este ensayo consiste en profundizar en el interés por la comprensión de la estructura del universo y las distintas soluciones que aportan los filósofos de la ciencia desde la antigüedad hasta el Renacimiento, momento en que se aúnan los esfuerzos de la tradición astronómica antigua y los de una tradición que comienza a nacer en el seno de un nuevo mundo, que como demostrará el astrónomo polaco Nicolás Copérnico (1473-1543) ya no se encuentra en el centro del universo.

Por ello en primer lugar abordaremos la teoría de las esferas homocéntricas elaborada en el mundo antiguo ya que constituye el primer intento de ofrecer respuesta a los problemas de los cielos y que será decisiva en el desarrollo de la disciplina de la astronomía.

A continuación, expondremos los problemas de la astronomía matemática en la época del Renacimiento. Hablaremos de los aspectos filosóficos e históricos, estrechamente relacionados entre sí, y veremos cómo las motivaciones de Copérnico se corresponden con las inquietudes propias de su época y de la tradición que ésta recibe.

Para finalizar, terminaremos con el análisis de la gran obra de Copérnico *De revolutionibus orbium coelestium* publicada por primera vez en 1543 y titulado en castellano *Sobre las revoluciones (de los orbes celestes)*. Plantearemos cómo y en qué medida el astrónomo polaco trata de resolver los problemas de los cielos.

II. DISCUSIÓN

A la hora de hacer historia de la ciencia debemos tener en cuenta ciertas precauciones metodológicas que no deben pasarse por alto al abordar una comparación entre la ciencia griega y moderna.

En primer lugar, hay que señalar que los significados que nosotros atribuimos a los conceptos esenciales de las teorías que tratamos no son los mismos que les atribuyen sus creadores¹. En nuestro análisis se compararán el pensamiento científico griego con el moderno, por lo que debemos tener en cuenta que el pensamiento científico griego nos llega por vía indirecta, principalmente por la vía de la traducción de Aristóteles y sus numerosos comentaristas, que pudieron usar conceptos posteriores proyectándolos sobre una teoría anterior (por ejemplo, el propio Aristóteles usa conceptos que hacen referencia a las teorías platónicas que no están en Platón). Por lo tanto, hay que procurar no contaminar el análisis de las teorías anteriores al proyectar nuestra mirada sobre el pensamiento griego².

Otra de las precauciones que se deben tomar cuando hagamos una historia de la ciencia es, siguiendo la tesis de Koyré, que no puede tomarse el pensamiento científico como algo independiente del horizonte de pensamiento filosófico. A lo que añadiremos que tampoco puede hacerse sin atender a otros aspectos denominados extra-científicos de los cuales demostraremos que resultan decisivos para la comprensión del desarrollo de la ciencia.

II.1 EL SISTEMA DE ESFERAS HOMOCÉNTRICAS

El interés por la comprensión de la estructura del universo es la idea que encontramos en la base del desarrollo del pensamiento científico. La contemplación de los cielos era una práctica habitual desde la antigüedad dado que la observación del cielo a simple vista revelaba el movimiento del Sol, la Luna y las estrellas alrededor de la Tierra. Este “primer gran hecho de los cielos”³ junto con el problema de los movimientos y de las posiciones erráticas observadas en los planetas conforman la base del desarrollo del pensamiento astronómico.

Ante el fracaso en la resolución de los problemas sobre los cielos en la antigüedad – como el movimiento del Sol a lo largo de la eclíptica, el movimiento retrógrado de los planetas y sus cambios de brillo y de tamaño, así como su posición en el mundo–

¹ BARKER, P., “Constructing Copernicus”, *Perspectives on Science*, 10:2, 2002, p. 209.

² SAMBURSKY, S., *El mundo físico de los griegos*, Alianza, Madrid, 1990, p25.

³ RUSSELL HANSON, N., *Constelaciones y conjeturas*, Alianza, Madrid, 1985, p. 19.

Platón parece ser el primer filósofo en plantear en el *Timeo* el enunciado del problema de forma seria, de tal forma que se convertirá en la pregunta a la que todo astrónomo deberá tratar de responder: “¿Cuáles son los movimientos uniformes y ordenados que pueden ser tomados como hipótesis para explicar los movimientos aparentes de los planetas?”⁴. Este enunciado será central en el desarrollo de la historia de la astronomía ya que dará lugar a dos tipos de respuesta, dos vías metodológicas y epistemológicas mediante las cuales se trató de responder a esta cuestión y que representan la división de la astronomía, desde la antigüedad, en dos ramas bien diferenciadas que pasamos a exponer a continuación.

Por un lado, están las que buscan construir teorías físicamente verdaderas que se correspondan con la realidad en base a la creencia en una estructura oculta del universo y su relación con las armonías matemáticas, que pertenecerían a la rama de la astronomía física o cosmológica que suscribirían una epistemología realista, y por otro lado, las que postulan hipótesis con el fin de salvar las apariencias sin mostrar demasiada preocupación por la correspondencia entre esas hipótesis y la realidad, que usan las matemáticas como meras herramientas de cálculo, y que corresponderían a la rama de la astronomía matemática o computacional bajo una epistemología instrumentalista. Estos dos enfoques suponen el origen del debate sobre “salvar las apariencias” que acompaña a la astronomía desde sus primeras formulaciones y que seguirá vigente en Copérnico como veremos más adelante.

Una vez diferenciadas las dos ramas de la astronomía que surgen en la antigüedad, volvamos a la pregunta planteada por Platón. “¿Cuáles son los movimientos uniformes y ordenados que pueden ser tomados como hipótesis para explicar los movimientos aparentes de los planetas?”. Una respuesta que correspondería a la rama de la astronomía física o cosmológica la encontramos en la orientación pitagórica de la astronomía antigua según la cual Pitágoras y sus seguidores establecen una correlación entre las armonías musicales y las razones matemáticas. Según éstos, lo “real” debía participar de la misma armonía que está presente en la naturaleza, por lo que el pitagórico comprometido estaba convencido de que el conocimiento de esta armonía matemática reside en la comprensión de la estructura fundamental del universo⁵. Platón

⁴ PLATÓN, *Timeo*, CSIC, Madrid, 2012.

⁵ Un ejemplo de esta orientación pitagórica la encontramos en una conocida cita de Galileo: “la filosofía está escrita en ese gran libro – me refiero al universo- que permanece constantemente abierto a nuestra

participará de esta idea y creará en la racionalidad subyacente del universo y en la importancia de descubrirla⁶.

Frente a la perspectiva de la astronomía física, que como hemos dicho cree en la estructura oculta del universo y en su relación con las armonías matemáticas, encontramos la primera respuesta a la pregunta formulada por Platón desde el punto de vista de la astronomía matemática en su discípulo de la Academia Eudoxo de Cnido al que se atribuye la teoría de las esferas homocéntricas, según la cual cada planeta estaría situado en la esfera interior de un grupo de dos o más esferas interconectadas y concéntricas, cuya rotación simultánea en torno a diferentes ejes reproducía los movimientos observados en los cuerpos celestes. Este conjunto de esferas cuyo centro coincide con la Tierra se rige por un principio de simetría según el cual las órbitas de los planetas deberían describir círculos concéntricos a su alrededor.

Una de las virtudes que se pueden destacar de este modelo geométrico basado en esferas concéntricas es que consigue “salvar las apariencias” al ofrecer una explicación (que no un sistema) inteligible de los movimientos planetarios. Hay que señalar, que Eudoxo concibió las esferas como fórmulas geométricas, como meros expedientes de cálculo, en definitiva, eran un instrumento creado por la imaginación del astrónomo para facilitar su trabajo, no una imagen representativa de la verdad de los cielos. Por ejemplo, mediante el uso de dos esferas, una que correspondería a la esfera exterior de las estrellas, y otra esfera interior en la que se comprendería el mundo, estando ambas conectadas en dos puntos diametralmente opuestos y, girando la primera en dirección oeste y la segunda en dirección este, se conseguía reproducir el movimiento del Sol a lo largo de la eclíptica durante su revolución anual y su movimiento diario alrededor de la Tierra; añadiendo una tercera esfera, se lograba representar de manera aproximada y conjunta los movimientos del Sol y la Luna.

Pero a pesar de conseguir unificar estos movimientos mediante el uso de unas pocas esferas, para representar el movimiento del resto de planetas eran necesarias al menos cuatro esferas para cada uno, lo que complicaba la explicación. Además, las esferas homocéntricas, no explicaban el movimiento de retrogradación de los planetas, de sus

contemplación pero que no puede ser comprendido si primero no comprendemos el lenguaje en el que está escrito. Está escrito en el lenguaje de la matemática, y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin los cuales es humanamente posible comprender una sola palabra de él”. Galileo, *The Assayer*, trad. por S. Drake *The Controversy of the Comets of 1618*, Filadelfia, Univ. Of Pennsylvania Press, 1960, pp. 183-184.

⁶ LOSEE, *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*, Alianza, Madrid, 1991, pp. 27-28.

cambios de brillo ni de sus tamaños aparentes. Sin embargo, sí eran capaces de representar, aunque fuera de manera aproximada, los movimientos aparentes de los planetas, de “salvar las apariencias” ofreciendo una explicación inteligible sobre el movimiento planetario⁷.

Debemos señalar que estos modelos geométricos fueron mejorados por los trabajos de Apolonio de Pérgamo e Hiparco de Nicea, dos astrónomos y matemáticos griegos que trabajan durante los siglos III y II antes de nuestra era. Tenemos constancia de que Apolonio trabajó con dos herramientas matemáticas que se continuarían usando hasta la época de Copérnico: el modelo de epiciclo sobre deferente y el modelo de excéntrica. Estos modelos, equivalentes desde el punto de vista matemático, se usarán en astronomía indistintamente para tratar de ofrecer una predicción lo más exacta posible de los movimientos de los astros.

El mejor ejemplo de su uso lo encontramos en el *Almagesto* de Ptolomeo. En esta obra, considerada como el mejor tratado de astronomía de la antigüedad, Ptolomeo insinúa que sus modelos matemáticos eran meros instrumentos de cálculo cuyo éxito se basaba en la capacidad predictiva, y que no debía entenderse que los modelos geométricos representados describían los movimientos reales de los planetas⁸, sino que su fin era “salvar las apariencias”. El manejo de estos modelos dará lugar a complicadas figuras geométricas debido a la sucesión de los giros circulares descritos por los planetas, pero que al fin y al cabo, consiguen explicar el movimiento aparentemente irregular de los astros convirtiéndolo en regular y uniforme. Estos dos principios pasarán a formar parte de la astronomía como los axiomas básicos de toda teoría dedicada al estudio de los cielos.

El universo copernicano será el producto de la serie de investigaciones llevadas a cabo gracias a la preexistencia del sistema de esferas homocéntricas⁹. Como dice

⁷ KUHN, T. *Revolución copernicana*, Ariel, Barcelona, 1996, pp. 89-90.

⁸ Osiander dirá algo similar en el Prefacio del *De revolutionibus* de Copérnico publicado en 1543.

⁹ Hay constancia de que había cosmologías rivales al sistema de esferas homocéntricas desde la antigüedad, entre las que destacan las de Leucipo y Demócrito (atomistas del s. V a. C. que describen el universo como un espacio infinito y vacío por el que se movían un número infinito de partículas, llamadas átomos, que se desplazaban en todos los sentidos. En ese universo, la Tierra era uno más entre los cuerpos celestes y no el centro del universo dado que un universo infinito no puede tener un centro) y la de Aristarco de Samos (s. III a. C. que plantea la hipótesis de un sol que ocuparía el centro de la esfera estelar y una Tierra que describe órbitas circulares a su alrededor) por ser más parecidas a las

Neugebauer, “se pueden comprender los *Principia* sin tener un excesivo conocimiento de la astronomía anterior, pero no se puede entender a Copérnico o Kepler sin un conocimiento profundo del *Almagesto*”¹⁰, por ello Ptolomeo es una pieza clave a la hora de abordar el significado de la revolución copernicana en el plano epistemológico¹¹. Este es el motivo de que nuestra discusión arranque del estudio de dicho sistema dado que constituye el primer intento de ofrecer una explicación a los hechos observados en los cielos y porque es el sistema que goza de mayor popularidad durante la antigüedad y la Edad Media. Su fama es tal, que seguirá vigente en las argumentaciones copernicanas, incluso se puede comprobar en el título de la gran obra de Copérnico *De revolutionibus orbium coelestium*, donde el término “órbitas” o esferas no se refiere a los planetas propiamente dichos, sino a los caparazones concéntricos sobre los que se engarzan los planetas y las estrellas¹². Sin embargo, serán las argumentaciones de Copérnico las que provocarán el abandono definitivo de las esferas homocéntricas poco tiempo después de su muerte cuando sus sucesores y seguidores desarrollen, corrijan y lleven hasta el final las tesis y las consecuencias derivadas del *De revolutionibus*.

II. II ESTADO DE LA ASTRONOMÍA MATEMÁTICA EN EL RENACIMIENTO

Los problemas relacionados con la búsqueda de un sistema astronómico unificado y preciso que fuera capaz de salvar los fenómenos a la vez que ofrecer una imagen realista de los cielos son las principales motivaciones del trabajo de Copérnico, pero el planteamiento de tales cuestiones no es cosa suya. Estas cuestiones se debaten en el texto copernicano (y en cierta manera se solucionan) gracias a la preexistencia de un

cosmologías modernas que a las antiguas. Todas ellas fueron rechazadas porque en primera instancia, la idea de una Tierra en movimiento es *a priori* absurda en base a las observaciones que dan fe del movimiento de los astros y no del movimiento de la Tierra. Otro argumento en su contra era que considerar a la Tierra como un cuerpo celeste más desmontaba la cosmovisión del hombre como centro del universo al mismo tiempo que contradecían los principios aceptados sobre los cielos. En KUHN, T. *Revolución copernicana*, Ariel, Barcelona, 1996, pp.72-85.

¹⁰ ELENA, A., *Las quimeras de los cielos. Aspectos epistemológicos de la revolución copernicana*, Siglo XXI, Madrid, 1985, nota núm. 12, p23.

¹¹ *Ibíd.*, p. 12.

¹² KUHN, Op. Cit., pp. 93-94.

estado de opinión favorable a dichas ideas que se forja en los siglos anteriores a su nacimiento. La vida de Copérnico (1473-1543) transcurre en las décadas centrales del Renacimiento y limita con la instauración Reforma. Esta es una época marcada por profundas conmociones en la vida política, social y religiosa: las amenazas del mundo musulmán, el surgimiento de una nueva aristocracia que rivalizaba con la vieja aristocracia eclesiástica y la nobleza terrateniente; Lutero y Calvino que comienzan las revueltas contra la hegemonía religiosa del catolicismo, etc. todos ellos son acontecimientos que jugaron un importante papel en el desarrollo del pensamiento científico del que bebería Copérnico.

II.II.I PROBLEMAS RELACIONADOS CON EL CALENDARIO

Las motivaciones que Copérnico expone en el Prefacio que dedica al papa Pablo III¹³ se corresponden con algunas de las inquietudes intelectuales propias del medio ambiente intelectual de la época. Las discusiones en torno al calendario son elementos fundamentales en el campo de la astronomía ya que representan la primera manifestación útil de la práctica astronómica además de ser el principal motor de su desarrollo¹⁴. Copérnico recuerda a Platón, que en el Libro séptimo de las *Leyes* (VII, 809c) sostiene que debe extenderse el estudio de la astronomía para respetar “el orden en los días, los tiempos divididos en meses y años con vista a las solemnidades y a los sacrificios”¹⁵. Esta referencia puede ser para justificar el estudio de los cielos con cierto enfoque realista, porque para qué nos sirve un calendario que no es exacto. Para que un calendario sea exacto, éste debe corresponderse con los hechos observados de los que deriva, en este caso debe ser una representación fidedigna de la duración del año que se mide por la revolución de la Tierra alrededor del Sol. Pero sostiene Copérnico que los astrónomos “estaban tan inseguros sobre el movimiento del Sol y la Luna, que no podían demostrar ni observarla magnitud constante de la revolución anual”¹⁶. Esto provocó que con el paso de los siglos se hicieran más que patentes los errores del calendario a causa de que los cálculos en la duración del año no eran exactos, lo que

¹³ COPERNICO, N., “Prefacio Al Santísimo Señor Pablo III, Pontífice Máximo”, en *Sobre las revoluciones (de los orbes celestes)*, Tecnos, Madrid, 2009, pp. 9-21.

¹⁴ El primer uso derivado de la práctica astronómica fue la elaboración de calendarios por parte de los pueblos de Babilonia y Egipto. Ver KUHN, Op. Cit., p. 32 y ss.

¹⁵ COPERNICO, Op. Cit., p.25.

¹⁶ *Ibíd.*, p. 14.

convirtió en una necesidad de primer orden la mejora en las técnicas de computación para solucionar de manera definitiva estos errores de precisión.

Las propuestas de reforma del calendario juliano se remontan al siglo XIII, pero el proyecto no se puso en marcha hasta el siglo XVI cuando el papa León X replantea de nuevo la cuestión en el Concilio de Letrán (1512-1517) convirtiendo de esa forma un problema astronómico en un proyecto oficial de la Iglesia en el que se pidió la colaboración de los príncipes católicos y las universidades. Para tal fin se formó una comisión dirigida por el obispo de Fossombrone, Pablo de Middleburg, quien solicitó los servicios de Copérnico, oferta que el astrónomo polaco declina argumentando que dicha reforma no puede ser llevada a cabo de manera satisfactoria sin realizar previamente una reforma de la astronomía. Al final del Prefacio del *De revolutionibus* Copérnico subrayará que su sistema podría aportar medios para alcanzar estos objetivos¹⁷ y reconoce que fue una motivación para su trabajo desde entonces¹⁸.

II.II.II PROBLEMAS TÉCNICOS DE LA ASTRONOMÍA MATEMÁTICA Y LAS TEORÍAS COSMOLÓGICAS

En la época de Copérnico la forma de abordar la astronomía planetaria fue muy distinta a la de los anteriores estudios astronómicos. Hasta mediados del siglo XV, momento en que ven la luz las obras de Georg Peurbach (1423-1461) y las de su pupilo Johannes Müller (1436-1476) más conocido por Regiomontano, no se puede empezar a hablar de cierto progreso técnico en el campo de la astronomía debido a que no se había creado ninguna tradición astronómica europea que fuera capaz de rivalizar con la obra de Ptolomeo dado que el estudio del problema (cuantitativo) de los planetas había quedado relegado a un segundo plano¹⁹. Peurbach y Regiomontano son autores de la obra que se convertiría en el fundamento de todos los comentarios astronómicos posteriores, *Epitome in Almagestum* publicado en 1496 en Venecia (aunque el Prefacio está fechado en 1460), justo cuando Copérnico se encuentra estudiando en Italia en la universidad de Bolonia²⁰. Esto es interesante porque esta obra favorece la difusión del

¹⁷ ELENA, Op. Cit., pp. 116-7.

¹⁸ COPERNICO, Op. Cit., p. 21.

¹⁹ KUHN, Op. Cit., pp. 171-172.

²⁰ DEAR, P., *La revolución en las ciencias. El conocimiento europeo y sus expectativas, 1500-1700*, Marcial Pons, Madrid, 2007, p. 51.

comentario al sistema ptolemaico durante el renacimiento con la indicación de la penosa situación en la que se encontraban las matemáticas (astronómicas) de su tiempo²¹.

La acumulación de datos obtenida durante el paso de los siglos desveló que los cálculos de Ptolomeo no eran correctos, lo que animaría la necesidad de la reforma en el campo de la astronomía matemática que hemos mencionado en el punto anterior.

N. Russell Hanson nombra a G. Fracastoro y G. B. Amici, coetáneos a Copérnico y ambos autores de obras sobre el sistema homocéntrico en las que comienzan a defenderse ideas que serán propias de una tradición astronómica que buscará predecir y describir con exactitud los movimientos planetarios y saber el por qué se de tales movimientos al mismo tiempo y con una misma explicación. Hay que señalar que estas opiniones eran posibles por aquel entonces dado que la costumbre de criticar la propia tradición desde la que partía el astrónomo era una corriente arraigada²². T. Kuhn señalará la importancia de la crítica escolástica a las tesis aristotélicas en este mismo sentido²³.

Este es a grandes rasgos el estado de la astronomía en la época de Copérnico. Se ha recuperado el texto de Ptolomeo, comentado por expertos astrónomos y matemáticos y se han revelado algunos de sus problemas. Este es un aspecto importante, porque las críticas de Copérnico hacia sus contemporáneos por no ser capaces de “hallar o calcular partiendo de lo más importante, esto es, la forma del mundo y la simetría exacta de sus partes, sino que les sucedió como si alguien tomase de diversos lugares manos, pies, cabeza y otros miembros auténticamente óptimos, pero no representativos en relación a un solo cuerpo, no correspondiéndose entre sí, de modo que con ellos se compondría más un monstruo que un hombre”²⁴ van por este camino. Las críticas de Copérnico se dirigen contra el estado de la astronomía matemática, porque lo que él recibe no es *el* sistema ptolemaico, sino un buen número de sistemas ptolemaicos deformados por sus comentaristas con el fin de mejorar dicho sistema, pero sin conseguir mejoras significativas en cuanto a los problemas de los cielos.

²¹ *Ibíd.*, p. 65.

²² RUSSELL HANSON, Op. Cit., pp. 201-202.

²³ KUHN, Op. Cit., pp. 192-193.

²⁴ COPERNICO, Op. Cit., p. 15.

La astronomía matemática de la que disponía Copérnico seguía sin poseer un método unitario mediante el cual determinar los movimientos de la Tierra, el Sol y la Luna, así como de las otras cinco estrellas errantes. Por ello Copérnico criticará el uso de distintos métodos de resolución propios de la astronomía ptolemaica: “unos utilizan sólo círculos homocéntricos, otros, excéntricos y epiciclos, con los que no consiguen plenamente lo buscado”, pero sin embargo, caerá en su propia crítica como veremos más adelante.

Copérnico también muestra su descontento con los filósofos de su época: “comenzó a enojarme que (...) no les constara ningún cálculo seguro sobre los movimientos de la máquina del mundo”²⁵. Este fragmento muestra al astrónomo inscrito al mismo tiempo en una tradición astronómica que se ha desvelado ineficaz para desvelar la estructura del universo, a la vez que realizando una crítica a la propia tradición. Por ello, recurre a la antigüedad para encontrar otras opiniones favorables con respecto al movimiento terrestre que le permitan abordar por él mismo el pensamiento de una Tierra en movimiento.

Una característica que será muy influyente en la ciencia del Renacimiento es que este período está marcado por los viajes, descubrimientos y exploraciones de los nuevos territorios. El éxito de las exploraciones delataron los errores de la *Geografía* de Ptolomeo, por lo que no podemos hablar de motivos exclusivamente filosóficos a la hora de hablar de esta necesidad de renovación en el campo de la astronomía²⁶.

Incluso el propio Copérnico hace referencia al hecho histórico del descubrimiento de América por parte de Américo Vespucio, en lugar de la falsa atribución de dicho descubrimiento a Cristóbal Colón. En consecuencia, estos hechos permitirán hablar de la posibilidad de la existencia de las antípodas, un argumento que chocaba con la habitual lectura literal de las Sagradas Escrituras.

Por otro lado, durante los siglos inmediatamente anteriores a Copérnico comienzan a aparecer cosmologías en las que se hablaba del movimiento de la Tierra y que comienzan a romper con las cosmologías tradicionales. Gran parte de ellas se crean durante el siglo XIV entre los adversarios del aristotelismo, como G. Ockham, J.

²⁵ *Ibid.*, p. 16.

²⁶ DEAR, Op. Cit., p. 37.

Buridan, y Nicolás de Oresme, aunque no es seguro si Copérnico llegó a conocer directamente la obra de alguno de ellos, pero si es clara la influencia de la Escuela de París en las Universidades centroeuropeas²⁷. Las tesis defendidas por estos autores cambiarán el estatuto de este tipo de hipótesis haciéndolas pasar de imposibles a improbables²⁸.

II.II.III RELACIÓN ENTRE LAS CIENCIAS ASTRONÓMICAS Y LA IGLESIA

Es probable que estos problemas que hemos mencionado más arriba tuvieran algo que ver con la tortuosa relación mantenida entre las ciencias astronómicas y la Iglesia Católica a lo largo de la historia. Durante la Edad Media y parte del Renacimiento, la Iglesia católica fue la autoridad dominante en toda Europa. Los eruditos medievales eran miembros del clero y las universidades pertenecían a la Iglesia. Se puede decir que desde el siglo IV al XVII, la actitud de la Iglesia respecto a la ciencia en general y a la estructura del universo en particular fue un factor determinante para la astronomía que, hasta el siglo X, y de nuevo a partir del siglo XVI, se caracteriza por ser hostil a la ciencia.

Los Padres de la Iglesia se interesaron poco por los problemas astronómicos hasta que se tiene conocimiento de la obra de Aristóteles en el siglo XII y se comienzan a debatir las cuestiones astronómicas del *De Caelo*. La actitud habitual de la época la ejemplifica bien Erasmo de Róterdam cuando afirma que “lo que está por encima de nosotros no nos interesa”, o más bien, que sólo interesa en la medida en que pueda hacerse concordar con las Sagradas Escrituras, particularmente, con el relato de la Creación expuesto en los primeros capítulos del *Génesis*. Alrededor del siglo XIII y gracias a obras como la *Summa Theologica* de Tomás de Aquino se readmite el universo aristotélico ya que este texto certificaba la compatibilidad de la ciencia antigua con la fe cristiana²⁹. Prueba de ello es la importancia que toma el problema de la forma de la Tierra y de la existencia o no de las antípodas que mencionábamos en el punto anterior.

²⁷ KUHN, Op. Cit., pp. 164-169.

²⁸ ELENA, Op. Cit., p. 119.

²⁹ Un buen ejemplo de esta filiación lo podemos encontrar en la obra de Dante *Divina comedia*. Aquí el poeta demuestra el alto grado de acuerdo alcanzado entre la ciencia aristotélica y el dogma cristiano al describir su viaje a través de un universo que no puede ser más que aristotélico.

Por ejemplo, frente a la doctrina pitagórica que postula una Tierra esférica, las Escrituras enseñan que el cielo había sido tendido por encima de la Tierra plana (Isaías 48, 13). Este tipo de contradicciones entre las teorías físicas y los textos sagrados del cristianismo eran habituales, y se resolvían apelando a las Sagradas Escrituras, sin mostrar preocupación alguna por la correspondencia física de las teorías astronómicas. “No hay nada falso en las Escrituras” sostiene San Agustín en *La ciudad de Dios* (XVI, 9, pp. 48-50), quien negará la existencia de las antípodas alegando que si existieran, los hombres no podrían ver desde allí como desciende el Señor de los cielos el día del Juicio Final³⁰.

Sin embargo, la teoría copernicana se desarrollará apoyada por la Iglesia; el propio Copérnico era sobrino de un obispo y canónigo de la catedral de Frauenburgo, mientras que Giordano Bruno será quemado en la hoguera en 1600 por enseñar los múltiples sistemas solares y defender la infinitud del universo y Galileo será condenado, encarcelado y obligado a abjurar en 1633, por lo que debemos insistir en que la postura de la Iglesia con respecto a la ciencia no fue uniforme³¹.

El *De revolutionibus* es una obra astronómica dedicada al papa Pablo III, y en la que también se reconoce la importancia de varios miembros de la iglesia como Nicolás de Schönberg, cardenal de Capua, y Tiedemann Giese, obispo de Culm a la hora de publicar la obra. Esto indica la buena relación de la iglesia con la ciencia en el campo de la astronomía, al menos en ese período en el que la necesidad de la reforma del calendario se había convertido en un proyecto oficial de la Iglesia al que el propio Copérnico fue invitado.

También encontramos en Copérnico cierta crítica a la en ocasiones excesiva literalidad de la interpretación de los textos bíblicos que podría entrar en conflicto, como ya pasaba antes de Copérnico, y como seguirá pasando algún tiempo tras su muerte, con cualquier tesis que atribuya uno o varios movimientos a la Tierra.

³⁰ KUHN, Op. Cit., pp. 154-158.

³¹ *Ibíd.*, pp. 150-151.

II.II.IV RECUPERACION DE LOS TEXTOS CLÁSICOS

Hay algunos aspectos relacionados con la recuperación de los saberes clásicos en la época del Renacimiento que también merecen nuestra atención. Durante el Renacimiento tiene lugar una recuperación de los textos clásicos en los que aparecen nuevas ideas muy poco aristotélicas y que recuerdan mucho a las tesis pitagóricas y platónicas sobre su concepción de la realidad: una nueva fe en la posibilidad y en la importancia de descubrir en la naturaleza simples regularidades aritméticas y geométricas, y una nueva visión del Sol como fuente de todos los principios y fuerzas vitales existentes del universo ³². Según Kuhn las inclinaciones neoplatónicas dominantes en la época son determinantes para el desarrollo del pensamiento de Copérnico, “largo tiempo dudé en mi interior si dar a la luz mis comentarios escritos sobre la demostración de ese movimiento” o si seguir el precepto pitagórico y neoplatónico al que hace referencia la carta de Lisias dirigida a Hiparco (que Copérnico no incluyó en su obra) de no revelar los secretos de la naturaleza a los no iniciados y que en el caso de hacerlo, debe ser siempre mediante la transmisión oral³³.

Puede que la influencia neoplatónica-neopitagórica le hiciera creer que oculto en el lenguaje matemático se podía encontrar una armonía que se correspondiera con la realidad de los cielos. En otras palabras, estas nuevas fuentes le permitían pensar en una astronomía en la que el cálculo y la descripción física de los movimientos celestes fueran correctos.

II.III VIRTUDES RESOLUTIVAS DEL TRABAJO DE COPÉRNICO

Ahora veremos cómo resuelve Copérnico el tema de la unificación del sistema astronómico y los problemas de precisión de los cálculos de las revoluciones de los astros en vistas a la búsqueda de un sistema astronómico unificado y preciso, que salve los fenómenos y además se corresponda con la realidad de los cielos. Para ello nos centraremos en la gran obra de Copérnico, *De Revolutionibus orbium Coelestium*

³² *Ibíd.*, p. 176.

³³ COPERNICO, Op. Cit., pp. 10-11.

publicada en 1543, principalmente en los dos prefacios y algunos capítulos del Libro Primero (especialmente I-X), dado que el resto del texto del *De revolutionibus* resulta demasiado técnico para ser analizado por alguien que no sea un apasionado de las matemáticas o un astrónomo iniciado, o quizá ambos.

El Libro Primero está dirigido a los profanos en el tema y es donde se expone la constitución general del universo copernicano. Los principales argumentos muestran una clara dependencia de los conceptos y leyes aristotélicas y escolásticas que demuestran la actitud conservadora de Copérnico³⁴ al continuar inscrito dentro de la tradición de salvar los fenómenos. El astrónomo polaco describe el mundo como esférico y finito (I,1) porque la esfera “es la forma más perfecta de todas (...) la más capaz de todas las figuras, la que más conviene para comprender las cosas y conservarlas”³⁵, dentro de la cual se encuentra la Tierra que también es esférica (I, 2) y forma un globo junto con el agua que cubre su superficie (I,3). Estos argumentos sobre la forma del mundo podemos encontrarlos prácticamente idénticos en Aristóteles y Ptolomeo.

En cuanto al movimiento de los cuerpos celestes (I, 4), Copérnico suscribe el axioma básico de la astronomía antigua: que el movimiento de los cuerpos celestes es circular, uniforme o compuesto por una combinación de círculos, “pues el círculo es el único que puede volver a recorrer el camino recorrido”. Mediante la observación podemos comprobar que los astros describen varios movimientos en su recorrido a través de los cielos, y esto según Copérnico se debe a las distintas órbitas descritas por los cuerpos celestes. La revolución diaria de la Tierra que produce la noche y el día, la revolución del Sol a lo largo de la eclíptica, la de la Luna y la de las cinco estrellas errantes, son movimientos diferentes. No parece haber regularidad en la velocidad de las revoluciones ni en los movimientos retrógrados de los planetas. Sin embargo, sostiene Copérnico que los movimientos de los astros “son circulares, o compuestos por muchos círculos, porque mantienen las irregularidades según una ley fija y con renovaciones constantes, algo que no podría suceder si no fueran circulares, pues el círculo es el único que puede volver a recorrer el camino recorrido”³⁶. Continúa su argumentación sosteniendo que estos movimientos nos pueden parecer irregulares “bien por los

³⁴ KUHN, Op. Cit., pp. 197-198.

³⁵ COPERNICO, Op. Cit., p. 28.

³⁶ *Ibíd.*, p.38.

diferentes polos de sus círculos, o también porque la Tierra no está en el centro de los círculos, a través de los cuales ellos se mueven (...)”³⁷. Por estos motivos, dado que la aparente irregularidad de los astros se puede deber a varios motivos, propone analizar el comportamiento de la Tierra con respecto al cielo para aclarar el asunto.

No encontramos ninguna novedad hasta que Copérnico introduce la tesis central de su teoría, la de una Tierra a la que atribuye varios movimientos y que ya no ocupa el centro del mundo (I,5). “se debe constatar si el movimiento [de la Tierra] es consecuencia de su forma y qué posición ocupa en el Universo, sin estos datos no es posible hallar una razón fija de los movimientos aparentes en el cielo”³⁸. En este punto parece referirse a la idea de postular una tesis sobre los movimientos aparentes de los cielos que se corresponda con la realidad.

Copérnico presenta dos tesis al respecto, la que defiende la astronomía tradicional de Aristóteles y Ptolomeo que postula una Tierra estática y en el centro del mundo, pero sostiene que no hay que despreciar la otra opción, según la cual la Tierra estaría provista de movimiento y que produciría cambios en las observaciones al modificar el punto de vista del observador. Copérnico se plantea si no sería más fácil mover lo contenido dentro del mundo finito (aristotélico) que el propio mundo, por ello vuelve la mirada hacia los pitagóricos “que suponían a la Tierra dando vueltas en el centro del mundo y opinaban que las estrellas se ponían a causa de la interposición de la Tierra y que salían al cesar de interponerse”³⁹. Es decir, Copérnico está recurriendo a las tesis que serían propias de la rama física de la astronomía dado que su trabajo se orienta tanto a explicar los fenómenos, a “salvar las apariencias”, como a ofrecer una teoría representativa de la realidad. Copérnico recurre a los pitagóricos para apoyar su tesis del movimiento terrestre, algo que ejemplifica tanto la importancia de la recuperación de la tradición como la existencia del sustrato intelectual que facilitó la posibilidad de plantear estas tesis desde una perspectiva realista, y todo ello sin chocar con el texto sagrado.

Además al admitir que la Tierra posee el movimiento de rotación diaria esto le permite pensar si ésta puede poseer otros movimientos.

³⁷ *Ibíd.*, pp. 38-39.

³⁸ *Ibíd.*, p. 40.

³⁹ *Ibíd.*, p. 41.

En cuanto a la posición de la Tierra, la opinión general la situaba en el centro del mundo y estática. En oposición, Copérnico habla sobre una Tierra excéntrica que no ocupa el centro del mundo, sino que se encuentra a cierta distancia de él (más cerca del centro que de la esfera de las estrellas fijas) y que si se relaciona su posición con las órbitas del Sol y los demás planetas, pone de manifiesto su movimiento irregular a causa de que el centro de giro no es el mismo punto que ocupa la Tierra. “Que los astros errantes se perciban unas veces más cercanos a la Tierra y los mismos otras veces más alejados, necesariamente prueba que el centro de la Tierra no es centro de aquellos círculos”⁴⁰. Por lo tanto, estamos ante una Tierra que ocupa una posición cercana al centro del universo en lugar del mismo centro y a una distancia menor con respecto al centro que con respecto a la esfera de las estrellas fijas. Lo que queda por saber es si la Tierra tiene algún otro movimiento además de la revolución diaria dado que por la observación da prueba que la Tierra no es su centro. Aquí recurre a Filolao el Pitagórico según cuenta Diógenes Laercio, que “opinó que la Tierra giraba, e incluso que se movía con varios movimientos, y que era uno más entre los astros”⁴¹. Es decir, de nuevo, recurriendo a la antigüedad, encontramos la atribución de varios movimientos a la Tierra.

La ruptura con la tradición aparece en este capítulo cuando atribuye tres movimientos simultáneos a la Tierra: una rotación cotidiana axial, un movimiento orbital anual y un movimiento cónico y anual del eje, que explicarían los movimientos aparentes de los cielos. Aquí sugiere que puesto que la Tierra es una esfera como los demás cuerpos celestes, también debe participar de los movimientos circulares compuestos, que según él, son naturales a toda esfera. Este capítulo subraya la mayor ventaja astronómica de admitir una Tierra en movimiento ya que hace posible explicar de forma cualitativa las irregularidades observadas en los cielos, que resultan ser aparentes si son vistas desde una Tierra en movimiento. Por ello opina que debemos creer en el movimiento de la Tierra⁴².

Como nada impide que la Tierra se pueda mover, y ya es seguro que posee al menos un movimiento, Copérnico trata de averiguar si a la Tierra se le pueden atribuir otros

⁴⁰ *Ibíd.*, p. 42.

⁴¹ *Ibíd.*, p. 42.

⁴² KUHN, Op. Cit., 1996, pp. 202-203.

movimientos y cuál debe ser el centro del mundo (I, 9) de tal forma que pueda considerarse como uno más de los astros errantes. “Que no es el centro de todas las revoluciones lo manifiestan el aparente movimiento irregular de las errantes y sus distancias variables a la Tierra, que no pueden entenderse mediante un círculo homocéntrico sobre la Tierra”⁴³, por lo tanto, debe haber varios centros de giro, y eso lleva a plantear si el centro del mundo coincide con el centro de gravedad terrestre dadas las irregularidades observadas si todavía queremos conservar el sistema homocéntrico, y está claro que Copérnico quería. Según Copérnico, la gravedad es “una cierta tendencia natural”⁴⁴, que no explica en absoluto a lo que se refiere por tal, atribuible a todos los astros dado que es aquello que les confiere la unidad de la forma esférica y sin embargo, se mueven. Por consiguiente, podemos deducir que si la gravedad era el criterio de la astronomía antigua para mantener a la Tierra estática y en el centro del mundo, al atribuírsela por igual a todos los astros, Copérnico desarma el argumento de la gravedad que mantenía a la Tierra estática y en el centro del mundo, y dado que se observa el movimiento de los otros astros a pesar de esta gravedad, lo mismo puede ocurrirle a la Tierra, y por lo tanto, esto provoca que cualquiera de los otros astros pueda ocupar el centro del universo según este razonamiento.

Sin embargo a pesar de conservar las esferas homocéntricas, su propia teoría conduciría posteriormente al abandono definitivo de la misma cuando Tycho Brahe observa el cometa de 1577, que se destruye la tesis de la esfera de las estrellas fijas, y tiempo después, cuando Kepler, copernicano convencido demostró que los movimientos circulares que describen los planetas son elipses, y no círculos.

Copérnico está buscando una descripción físicamente verdadera que de cuenta de los fenómenos celestes observados y para tal fin ha desarrollado un sistema matemático capaz de demostrar sus teorías, lo que sí supone cierta innovación a pesar de que está tratando de conservar la estructura clásica del universo. Copérnico se resiste a abandonar las esferas homocéntricas, y por ello desplaza a la Tierra del centro para acabar con las aparentes irregularidades de los cielos. Entonces, desplazar a la Tierra del centro no es un principio del sistema, sino una consecuencia derivada de la intención de Copérnico por mantenerse fiel a los principios de la astronomía matemática, en la medida que fuera posible, dado que toma algunos de sus elementos – como la forma del

⁴³ COPERNICO, Op. Cit., p. 58.

⁴⁴ *Ibíd.*, p. 58.

mundo y de la Tierra – a la vez que desecha otros – como el ecuante o los epiciclos mayores – durante la búsqueda de la verdadera estructura del universo. Por esto, se señala a Copérnico como unificador de las ramas matemática y física de la astronomía en una sola disciplina con un método unificado. Esto, recordemos, es justo lo que criticaba en el Prefacio a sus predecesores y contemporáneos, y es una de las innovaciones que podemos atribuir a Copérnico en el campo de la astronomía.

Copérnico también consigue dar una respuesta, al menos cualitativa, al problema de la irregularidad de los movimientos observados en los cielos al intercambiar las posiciones y movimientos del Sol y la Tierra. “Si se cambiara [el movimiento] de solar en terrestre, concedida la inmovilidad del sol, los ortos y los ocasos de los signos y de las estrellas fijas (...) no parecería propio de ellas, sino como un movimiento de la Tierra, el cambiar en virtud de sus apariencias. Finalmente, se pensará que el Sol ocupa el centro del mundo. Todo esto nos lo enseña la razón del orden, según la cual se suceden unas cosas a otras, y la armonía de todo el mundo, si, como dicen, con los dos ojos contemplamos esta cuestión”⁴⁵. Este desplazamiento supone una ruptura con el universo aristotélico al hacer de la Tierra un planeta más. Esta idea debía de haber aparecido antes en Nicolás de Cusa, pero el razonamiento matemático que lo demuestra sí es atribuible a Copérnico.

Éste y otros fragmentos del Libro décimo en los que Copérnico hace referencia al axioma del orden, la simetría y la perfección de las partes del universo, cuyo centro se encontraría en el Sol, es lo que le inserta dentro de la corriente pitagórica y lo relaciona con el hermetismo de la época, aunque estas opiniones se discuten⁴⁶.

Recordemos que el problema de los planetas había sido el principal motor del desarrollo del pensamiento astronómico, y por fin tras siglos de investigaciones se podía determinar de forma inequívoca cuál era el orden de las órbitas celestes (I, 10). Por ello Copérnico, que insistía en mantener los axiomas básicos de la astronomía: la regularidad y circularidad de los movimientos celestes así como el orden, la simetría y la perfección de las partes del universo, sostiene que “en consecuencia será necesario o

⁴⁵ *Ibíd.*, pp. 59-60.

⁴⁶ BELTRÁN, A., “Hermetismo y revolución científica. Primera aproximación” en *La Revolución científica, Renacimiento e historia de la ciencia*, Siglo XXI, Madrid, 1995.

que la Tierra no sea el centro, al que se refiere el orden de los astros y de los orbes, o no habrá, ni aparecerá, una razón segura de orden”⁴⁷.

Copérnico propone su propia ordenación de las órbitas celestes según la razón de los antiguos filósofos que siguiendo la *Óptica* de Euclides⁴⁸ ordenaban las órbitas de los planetas en función de la relación entre la magnitud de sus órbitas y el tiempo empleado en recorrerlas, de tal forma que situaban más lejos los que describían sus órbitas más lentamente. Así resultaba el universo Copernicano: en lo más alto se encuentra la esfera de las estrellas fijas, que limita el universo al contener todas las cosas y es inmóvil, seguida de las órbitas de Saturno, Júpiter y Marte. Hasta aquí conserva la estructura y ordenamientos clásicos de la tradición astronómica, pero es a partir de aquí donde comienza su verdadera innovación. En la cuarta posición coloca a la Tierra, inserta en la órbita de Marte, y acompañada por la órbita de la Luna que se mueve en un epiciclo. Bajo la órbita terrestre estarían la órbita de Venus seguida de la de Mercurio, “y en medio de todo permanece el Sol. Pues ¿Quién en este bellísimo templo pondría esta lámpara en otro lugar mejor, desde el que pudiera iluminar todo? Y no sin razón unos le llaman lámpara del mundo, otros mente, otros rector. Trismegisto le llamó dios visible, Sófocles en *Electra*, el que todo lo ve. Así...gobierna la familia de los astros que lo rodean (...) En consecuencia, encontramos bajo esta ordenación una admirable simetría del mundo y un nexo seguro de armonía entre el movimiento y la longitud de las órbitas, como no puede encontrarse de otro modo”. Todas las irregularidades aparentes de los movimientos de los planetas, “todo ello procede de la misma causa: el movimiento de la Tierra”⁴⁹.

“En consecuencia, encontramos bajo esta ordenación una admirable simetría del mundo y un nexo seguro de armonía entre el movimiento y la longitud de las órbitas, como no puede encontrarse de otro modo”. Todas las irregularidades aparentes de los movimientos de los planetas, “todo ello procede de la misma causa: el movimiento de la Tierra”⁵⁰. Finalmente terminará por atribuir tres movimientos a la Tierra (I, 11): el de rotación diaria de la Tierra sobre su eje que produce el día y la noche; el de rotación anual en torno al Sol; el de declinación, que produce una revolución anual hacia el oeste

⁴⁷ COPERNICO, Op. Cit., p. 64.

⁴⁸ *Ibíd.*, p. 60.

⁴⁹ *Ibíd.*, pp. 68-70.

⁵⁰ *Ibíd.*, p. 70.

sobre el eje de la Tierra para comenzar a partir de aquí con la demostración geométrica y matemática casi incomprensible para profanos en el tema.

III. CONCLUSIÓN

Continuación y ruptura en Copérnico

El trabajo astronómico de Copérnico revela varias de sus ambiciones, como el reto de proporcionar un significado físico a la astronomía a la vez que preservaba el valor predictivo de las predicciones ptolemaicas. Al mismo tiempo buscaba eliminar el dispositivo del ecuante dado que le parecía irreconciliable con la física aristotélica que tanto empeño puso por conservar. Según P. Barker, el *De Revolutionibus* no puede verse como un mero intento de conciliación con la metodología realista, sino que entiende que su pretensión era la de responder a la crítica antiaristotélica y al mismo tiempo conservar la integridad del sistema ptolemaico. Sin embargo, las consecuencias cosmológicas derivadas del *De Revolutionibus* responden en cierto sentido al criterio realista dado que persiguen una explicación de la verdadera estructura del cosmos, aunque no como la que debía de pensar Copérnico.

El *De Revolutionibus* es la primera solución simple y precisa al problema de los planetas que seguía abierto desde la pregunta formulada por Platón veinte siglos atrás y que vimos cómo trataba de resolverse en la antigüedad. Pero como señala Kuhn, la mayor parte de los elementos esenciales que asociamos a la revolución copernicana, los cálculos fáciles y precisos de las posiciones planetarias, la abolición de los epiciclos y las excéntricas, la desaparición de las esferas, la idea de un sol semejante a las estrellas y la de un universo infinito en extensión, como muchas otras, no aparecen por ninguna parte en la obra de Copérnico. Salvo por el movimiento terrestre, el *De Revolutionibus* parece más vinculado a la astronomía y cosmología antigua y medieval que a la de las generaciones posteriores, las que basándose en los trabajos de Copérnico pusieron de manifiesto las radicales consecuencias que derivaban del texto copernicano y realmente pusieron en marcha la revolución científica. Por lo tanto, no podemos decir que Copérnico fuera un revolucionario, aunque sí se pueda considerar a su obra como tal.

Poner en movimiento a la Tierra no fue una innovación de Copérnico dado que había precedentes históricos que habían defendido esta idea, sino que fue la transformación en las matemáticas lo que inaugura la revolución al proponer un sistema basado en el movimiento terrestre. Copérnico no acaba con la tradición astronómica porque no quiere hacerlo, pero inevitablemente asesta un duro golpe a sus bases, porque hay que reconocer que tiene que ser un golpe muy fuerte el que consiga mover a la Tierra del centro del universo. Si bien no fue el primero en plantear el movimiento terrestre, sí fue el primero en exponer las consecuencias astronómicas derivadas del mismo.

Hasta Copérnico no existió un sistema matemático que fuera capaz de hacer frente al expuesto por Ptolomeo y desarrollado por sus seguidores, y a pesar de que los astrónomos se dieron cuenta con el paso del tiempo de que la astronomía matemática transmitida por el sistema ptolemaico no funcionaba, fue necesario el paso de los siglos y el duro trabajo de grandes eruditos para que se creara un estado de opinión favorable al *renacimiento* de antiguas tesis capaces de ofrecer otro tipo de respuesta a los problemas astronómicos planteados en la antigüedad y que aún seguían vigentes en el Renacimiento.

Como dice Kuhn, Copérnico no es un astrónomo antiguo ni moderno, sino un astrónomo renacentista que hace de gozne entre dos épocas. Su gran obra, se puede considerar como el punto de partida de la nueva tradición astronómica heliostática que verá la luz poco tiempo después de su muerte, (que coincide con el año de publicación del *De revolutionibus*), y como la culminación de la tradición antigua, por ello encontramos que en el *De revolutionibus* se aúnan tanto tradición como ruptura.

IV. BIBLIOGRAFÍA

BARKER, P., “Constructing Copernicus”, *Perspectives on Science*, 10:2, 2002, pp. 208-227.

BELTRÁN, A., *La Revolución científica, Renacimiento e historia de la ciencia*, Siglo XXI, Madrid, 1995.

COPERNICO, N., *Sobre las revoluciones (de los orbes celestes)*, Tecnos, Madrid, 2009.

DEAR, P., *La revolución en las ciencias. El conocimiento europeo y sus expectativas, 1500-1700*, Marcial Pons, Madrid, 2007

ELENA, A., *Las quimeras de los cielos. Aspectos epistemológicos de la revolución copernicana*, Siglo XXI, Madrid, 1985.

KUHN, T., *La Revolución copernicana: la astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental*, Ariel, Barcelona, 1996.

LOSEE, *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*, Alianza, Madrid, 1991.

PLATÓN, *Timeo*, CSIC, Madrid, 2012.

RUSSELL HANSON, N., *Constelaciones y conjeturas*, Alianza, Madrid, 1985.